

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

Ivan Kalazić

Zagreb, 2009.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## **ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Neven Pavković

Ivan Kalazić

Zagreb, 2009.

## **SAŽETAK RADA:**

Dobili smo za zadatak koncipirati i konstruirati kočnicu za zatezanje trake transformatorskog lima pri izradi malih transformatorskih jezgri. Širine trake su nam bile zadane od 10 do 60 mm, a debljina lima od 0,2 do 0,5 mm. Kočnica nam treba osigurati dodatnu silu zatezanja koja je potrebna za kvalitetnije namatanje trake na pravokutne šablone.

Pogon na standardnu mrežu 220V, ukoliko je to potrebno. Metodičkom razradom moramo obuhvatiti različita projektna rješenja uređaja uz upotrebu standardnih sklopova i dijelova. Tehnoekonomskom analizom odabrati projektno rješenje. Odabrano projektno rješenje uređaja razraditi s potrebnim proračunima nestandardnih dijelova. Pri konstrukcijskoj razradi paziti na tehnologično oblikovanje dijelova. Izraditi 3D model proizvoda. U radu je poželjno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć. Ovakva vrsta rada pripada u tip konstrukcijskog projekta.

# SADRŽAJ

SAŽETAK RADA:	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA:	3
POPIS OZNAKA	4
IZJAVA	5
1. UVOD	6
2. OPĆENITO O MOTANIM I PREREZANIM JEZGRAMA	7
2.1. Svojstva	7
2.2. Standardi	9
2.3. Primjena	11
3. TRANSFORMATORSKI LIM	12
3.1. Kvaliteta	12
3.2. Svojstva	13
3.2.1. Udio elemenata	13
3.2.2. Mehanička svojstva	13
3.2.3. Tolerancija dimenzija	13
4. ANALIZA TEHNOLOGIJE IZRADE TRANSFORMATORSKIH JEZGRI	14
4.1. Utjecaj pojedinih proizvodnih operacija	14
4.1.1. Oblikovanje jezgri	14
4.1.2. Ižarivanje	14
4.1.3. Impregniranje	14
4.1.4. Prerezivanje	15
5. ISTRAŽIVANJE TRŽIŠTA	16
5.1. Postojeći proizvodi na tržištu	16
6. PRORAČUN MEHANIZMA ZA KOČENJE	17
6.1. Izvedba	17
6.2. Momenti savijanja	17
6.3. Sila savijanja	18
6.4. Proračun odabranih podataka (okvirni proračun)	18
6.5. Odabir opruge	20
7. FUNKCIJSKO MODELIRANJE PROIZVODA	22
7.1. Modeliranje funkcija pomoću toka	22
7.2. Funkcijska struktura (pojednostavljena)	23
7.3. Funkcijska struktura (opširnija)	23
8. MORFOLOŠKA MATRICA	25
9. KONCEPTI	28
9.1. Odabiranje koncepata	28
10. 3D MODELIRANJE PROIZVODA	29
10.1. Računalni program CATIA V5	29
10.2. Modeliranje odabranog koncepta	29
10.3. Konstrukcija postolja	31

10.3.1. Odabir i način spajanja profila .....	31
10.3.2. Shema spajanja profila .....	32
10.3.3. Opis rada samog uređaja .....	35
11. PRILOG .....	36
11.1. Tehnička dokumentacija .....	36
12. ZAKLJUČAK .....	37
13. POPIS LITERATURE .....	38

## POPIS SLIKA

Slika 2.2a. Tipovi jezgri tvrtke Končar .....	9
Slika 3.1. Smjer valjanja lima .....	12
Slika 6.1. Sile na putanji namotavanja .....	17
Slika 6.1. Savijanje lima oko pravokutnog profila .....	18
Slika 6.5a. Izvadak iz kataloga; osnovne dimenzije opruge. ....	20
Slika 6.5b. Izvadak iz kataloga; odabir željene opruge. ....	20
Slika 6.5c. Misumi katalog tlačnih opruga tipa WH i WB. ....	21
Slika 7.1. Funkcijska struktura (modelirana pomoću toka funkcija) .....	22
Slika 7.2. Funkcijska struktura (pojednostavljena) .....	23
Slika 7.3. Funkcijska struktura (opširnija) .....	24
Slika 9.1. Skice odabranog koncepta. ....	28
Slika 10.1. CATIA by Dassault Systèmes.....	29
Slika 10.2a. Glavni dio sklopa. ....	30
Slika 10.2b. 3D model cijelog sklopa .....	31
Slika 10.3.1. Spajanje postolja vijcima .....	32
Slika 10.3.2a. Gornje postolje i dispozicijski crtež. ....	33
Slika 10.3.2b. Donje postolje i dispozicijski crtež. ....	34
Slika 10.3.3. Dispozicijski crtež cijelog uređaja. ....	34
Slika 10.3.3a. Uređaj za kočenje .....	35
Slika 10.3.3b. Mjerna skala. ....	35

## POPIS TABLICA:

Tablica 2.2. Tipovi trafo jezgri tvrtke Končar .....	10
Tablica 3.2.2. Mehanička svojstva lima .....	13
Tablica 8a. Ostvarivanje funkcija koncepta. ....	25
Tablica 8b. Morfološka matrica. ....	26

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
$b$	$mm$	Širina lima
$F$	$N$	Sila savijanja
$F_N$	$N$	Normalna sila
$F_O$	$N$	Sila u opruzi
$F_{O1}$	$N$	Sila jedne opruge
$F_t$	$N$	Tangencijalna sila na bubnju
$F_{tl}$	$N$	Tangencijalna sila na ležaju
$F_z$	$N$	Sila namatanja
$M$	$Nmm$	Moment savijanja lima
$M_\sigma$	$Nmm$	Moment savijanja
$n$	-	Faktor ojačanja
$n_{EM}$	$s^{-1}$	Broj okretaja elektromotora
$R$	$mm$	Polumjer bubnja
$R_M$	$N / mm^2$	Vlačna čvrstoća
$R_{max}$	$mm$	Radijus savijanja lima
$R_p$	$N / mm^2$	Granica plastičnosti
$r_n$	$mm$	Radijus neutralne osi
$r_u$	$Nmm$	Radijus unutarnje osi
$s$	$mm$	Debljina lima
$x$	-	Moment savijanja
$\varphi$	$^\circ$	Kut savijanja
$\omega_{EM}$	$rad / s$	Kružna frekvencija elektromotora

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, svojim znanjem, te uz pomoć navedene literature.*

*Zahvala:*

*Tijekom same razrade zadatka nailazio sam na niz problema, pa bih stoga posebno zahvalio svom mentoru dr. sc. Nevenu Pavkoviću na razumijevanju, podršci i korisnim savjetima..*

*Također se zahvaljujem svim ostalim profesorima koji su mi na bilo kakav način pomogli u izradi, a posebno prof. dr. sc. Zvonku Heroldu na korisnim savjetima, uputstvima i danoj literaturi.*

*Veliko hvala i mojim kolegama iz konstrukcijskog smjera koji su me poticali na kontinuiran rad.*

## 1. UVOD

Kao što je već u sažetku rada napomenuto, tema ovog rada je koncipirati i konstruirati kočnicu za zatezanje trake transformatorskog lima pri izradi malih transformatorskih jezgri. Završni rad sastoji se od 12 cjelina, a to su uvod, o motanim i prerezanim jezgrama, trafo lim, analiza tehnologije izgrade, istraživanje tržišta, proračun mehanizma za kočenje, funkcijsko modeliranje proizvoda, morfološka matrica, koncepti, modeliranje proizvoda, prilog i zaključak. Istraživanje tržišta nam je potrebno iz razloga što smo bili relativno neupoznati sa konstrukcijama ovakvoga tipa uređaja. Ne pronalaskom već gotovih rješenja na tržištu, morali smo obaviti koncepcijsku analizu uz analizu pojedini funkcija budućega uređaja. Uz to smo imali priliku ocijeniti funkcije te odrediti prednosti i nedostatke određene konstrukcije. Na temelju tih ocjena oblikovali samo svoje rješenje. Također smo okvirno proračunali sustav za kočenje lima kod njegovog namotavanja na profil jezgre neokruglog oblika.



## 2. OPĆENITO O MOTANIM I PREREZANIM JEZGRAMA

### 2.1. Svojstva

Danas se za transformatore i prigušnice koriste tri osnovna tipa jezgara:

- od trake tima motane okrugle jezgre, tzv. 0-jezgre,
- od štancanih limova slagane jezgre
- od trake lima motane i prerezane jezgre, tzv. C-jezgre za jednofazne i E-jezgre za trofazne transformatore.

0-jezgre omogućuju optimalno iskorištenje svojstva magnetskih limova (naročito orijentiranih) pa su za određene snage transformatori s 0-jezgrama najmanji po volumenu i težini. Osim toga, transformatori s 0-jezgrama odlikuju se najmanjim rasipnim poljima i najmanjom bukom, te najujednačenijim karakteristikama (najmanjim rasipanjem svojstva). Mana ovih jezgara je ta što se namoti moraju namatati specijalnim strojevima .

Jezgre slagane od štancanih limova iako najjeftinije, sve se manje traže, jer se kod njih najslabije iskorištavaju svojstva materijala, pa su transformatori sa slaganim jezgrama najveći i najteži. Osnovna prednost im je što omogućavaju upotrebu svitaka koji se mogu brzo i jeftino namatati.

Motane prerezane jezgre udružuju prednosti korištenja unaprijed namotanih i jeftinih svitaka, te bolje iskorištenje materijala. Te se jezgre koriste za izradu jednofaznih i trofaznih transformatora malih snaga (od 3 VA do 12,6 kVA).

Prednosti motanih prerezanih jezgara u odnosu na slagane jezgre su slijedeće:

a) električne (magnetske)

- ujednačene kvalitete
- manja struja praznog hoda
- viša radna indukcija
- veća snaga
- manji gubici magnetiziranja
- manja rasipanja magnetskog polja
- manja buka

b) tehnološka

- brza montaža
- jednostavno skladištenje i transport

c) mehaničke

- manji volumen
- manja težina

d) ekonomske

- ušteda u bakru za namote
- ušteda u broju radnika u montaži transformatora
- veća produktivnost izrade transformatora

e) opće

- moderne konstrukcije
- uredniji i ljepši izgled
- mogućnost nabavke svih standardnih tipova, kao i izrada specijalnih tipova po narudbi.

Svojstva motanih prerezanih jezgara ovise o materijalu od kojeg su namotane, tehnologiji izrade, o veličini i o kvaliteti obrade prerezane površine. Kvaliteta motanih prerezanih jezgara određen je gubicima i strujom magnetiziranja, koji moraju biti manji od standardom propisanih ili dogovorom utvrđenih.

## 2.2. Standardi

### MATERIJAL I IZRADA

Za izradu jezgri koristi se hladnovaljani orijentirani magnetski lim debljine 0,3 mm, izoliran dvostrano anorganskom izolacijom. Specifični gubici magnetiziranja kod 1,7 T i 50 Hz iznose 1,3 W/kg, a specifična masa 7,65 g/cm<sup>3</sup>.

Jezgra se izrađuje tako, da se traka orijentiranog lima potrebne širine mota na šablone veličine transformatorskog prozora. Nakon toga se jezgra žari, da se vrati prvobitna magnetska svojstva, koja su pogoršana naprezanjima pri namatanju.

Ohlađena jezgra se zatim impregnira kvalitetnom vezivnom smolom, da bi postala kompaktna. U zadnjoj fazi, tako izrađena jezgra se prerezuje na dva dijela.

Jezgre se izrađuju u svim standardnim i nestandardnim dimenzijama, u rasponu od 29,4 mm do 400 mm (dimenzija B).

### KARAKTERISTIKE

Prerezane motane jezgre omogućuju potpuno iskorištenje svojstava orijentiranog lima, pa radna indukcija malih transformatora s takvom jezgrom može iznositi od 1,7 T do 1,9 T.

Uz fino brušenje reznih površina polujezgre, postiže se kod nalijeganja efektivni zračni raspor manji od 0,03 mm.

Upotrebom motanih jezgri, umjesto jezgri slaganih od rezanog lima, mogu se izraditi transformatori jednakih snaga, ali manjih dimenzija, manje težine i s manje direktnog rada.

### ISPORUKA I MONTAŽA

Jezgra se sastoji od dvije polovice koje su označene tak da jednoznačno definiraju međusobnu pripadnost. Površine polujezgre su zaštićene od korozije tankim slojem plastičnog filma, koji se prije montaže lagano skida. Montaža ovih jezgri je vrlo jednostavna.

Dvije polovice jezgre se umetnu s jedne i druge strane u okvir namota, a onda se stegnu metalnom trakom.

Kod montaže treba paziti, da između fino izbrušenih površina ne dođe prašina ili neka druga nečistoća.

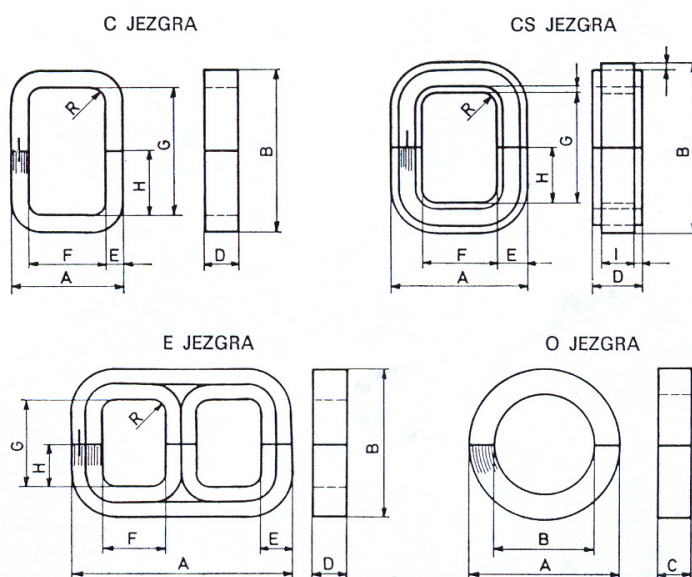
### NAČIN NARUČIVANJA

Kod naručivanja prema standardu, dovoljno je da naznači:

- standard,
- standardnu oznaku jezgre,
- broj komada.

Kod naručivanja jezgri nestandardnih dimenzija, naznači prema priloženim skicama:

- oznaku jezgre,
- željene dimenzije,
- broj komada.



**RADE KONČAR**

INDUSTRIJA ELEKTRIČNIH PROIZVODA,  
OPREME I POSTROJENJA — ZAGREB  
SOUR s. N. SoL. o. — ZAGREB  
41001 ZAGREB, Fallerovo šetalište 22  
telefon: (041) 561-022, telex: 21-159

Tisak: RO • Zrinski • Čakovec

*Slika 2.2a. Tipovi jezgri tvrtke Končar*

Tablica 2.2. Tipovi trafo jezgri tvrtke Končar

Postoje tri dimenzije grupe jezgara:

- grupa 3 P,
- grupa 3 Q,
- grupa 3 R.

Napomene: 1. Grupa 3 P obuhvaća mala jezgra, francuskog i britanskog porekla,  
 2. Grupa 3 Q obuhvaća jezgra srednje veličine, francuskog i britanskog porijekla.  
 3. Grupa 3 R obuhvaća velika jezgra, nemačkog porijekla.

U tabeli 1 propisane su granične mjere jezgara.

Tabela 1

mere u mm

Oznaka jezgra	$A_{\max}$	$B_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\max}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$F_{\min}$	$G_{\min}$	$R_{\max}$
3 P 1.1	53.0	45.0	7.9	8.7	8.0	8.8	13.0	25.0	1.6
3 P 1.2	53.0	45.0	12.7	13.5	8.0	8.8	13.0	25.0	1.6
3 P 1.3	53.0	45.0	15.9	16.7	8.0	8.8	13.0	25.0	1.6
3 P 2.1	65.0	56.0	9.5	10.3	10.0	10.8	16.0	32.0	1.6
3 P 2.2	65.0	56.0	12.7	13.5	10.0	10.8	16.0	32.0	1.6
3 P 2.3	65.0	56.0	15.9	16.7	10.0	10.8	16.0	32.0	1.6
3 P 2.4	65.0	56.0	19.0	19.8	10.0	10.8	16.0	32.0	1.6
3 P 2.5	65.0	56.0	22.2	23.0	10.0	10.8	16.0	32.1	1.6
3 P 3.1	79.5	67.5	12.7	13.5	12.7	13.5	19.0	38.1	1.6
3 P 3.2	79.5	67.5	15.9	16.7	12.7	13.5	19.0	38.1	1.6
3 P 3.3	79.5	67.5	19.0	19.8	12.7	13.5	19.0	38.1	1.6
3 Q 1	79.5	67.5	25.4	26.2	12.7	13.5	19.0	38.1	1.6
3 Q 2	92.0	79.6	25.4	26.2	15.6	16.6	20.6	44.4	1.6
3 Q 3	95.2	86.2	28.6	29.4	15.6	16.6	22.2	50.8	1.6
3 Q 4	111.1	99.0	31.7	32.5	18.8	19.8	25.4	57.2	3.2
3 Q 5	127.0	111.8	31.7	32.5	22.0	23.0	28.6	63.5	3.2
3 Q 6	148.4	130.8	31.7	32.5	25.1	26.1	34.9	76.2	3.2
3 Q 7	174.2	156.6	31.7	32.5	31.5	32.5	38.1	88.9	3.2
3 Q 8	206.0	175.9	38.1	38.9	37.8	39.0	44.4	95.3	3.2
3 Q 9	222.2	195.3	41.3	42.1	41.0	42.2	47.6	108.0	3.2
3 Q 10	254.7	221.5	47.6	48.4	47.4	48.9	54.0	120.7	3.2
3 Q 11	286.8	241.3	54.0	55.6	53.7	55.2	60.3	127.0	3.2
3 Q 12	326.1	268.2	60.3	61.9	60.1	61.8	69.9	140.0	3.2
3 R 1.1	249.6	255.6	49.5	51.2	47.9	49.4	50	154	3.0
3 R 1.2	249.6	255.6	74.5	76.2	47.9	49.4	50	154	3.0
3 R 2.1	279.6	286.0	55.0	57.0	53.7	55.3	56	172	3.0
3 R 2.2	279.6	286.0	89.0	91.0	53.7	55.3	56	172	3.0
3 R 3.1	301.0	307.2	60.0	62.0	57.9	59.7	60	184	3.0
3 R 3.2	301.0	307.2	75.0	77.0	57.9	59.7	60	184	3.0
3 R 3.3	301.0	307.2	90.0	92.0	57.9	59.7	60	184	3.0
3 R 4.1	350.8	357.2	69.5	71.7	67.6	69.6	70	214	3.0
3 R 4.2	350.8	357.2	99.5	101.7	67.6	69.6	70	214	3.0
3 R 4.3	350.8	357.2	129.5	131.7	67.6	69.6	70	214	3.0

E-jezgra se izrađuju iz traka debljine 0,1 mm i 0,28 do 0,35 mm.

U tabeli 2 propisani su: mase jezgara ( $m_{Fe}$ ), površine poprečnog presjeka ( $A_{Fe}$ ) i površine prozora ( $A_o$ ).

za  $m_{Fe}$  i  $A_{Fe}$  date su za debljine traka 0,28 mm do 0,35 mm. Za debljine 0,1 mm

$m_{Fe}$  i  $A_{Fe}$  dobijaju se množeći vrednosti iz tabele faktorom  $0,97 \left( 0,97 = \frac{x_{0,1}}{x_{0,3}} \right)$ .

U standardima su propisane dimenzije i karakteristike motanih prerezanih jezgara, te ispitne metode. Osnovni dokument je IEC Publikacija 329, strip wound cut cores of grain oriented silicon - iron alloy, used for electronic and telecommunication equipment. U skladu s IEC preporukom izdana su u nešto skraćenom obliku dva HRN-standarda: HRN N.R8.042 (Magnetna C-jezgra) i HRN N.R8.044 (Magnetna E-jezgra).

Magnetske karakteristike motanih prerezanih jezgara od trake orijentiranih magnetskih limova debljine 0,30 mm propisane su jednako u IEC-u, HRN-u i DIN-u:

- a) za jezgre za jednofazne transformatore specifični gubici magnetiziranja kod 1,7 T i 50 Hz moraju biti jednaki ili manji 2,2 W/kg, a specifične jalove snage, koja je zbog relativno malih gubitaka magnetiziranja približno jednaka prividnoj snazi, mora biti jednaka ili manja od:

$$13 + \frac{141,5}{l} \text{ [VA/kg] , gdje je "l" srednja dužina magnetskih silnica u jezgri izražena u cm.}$$

- b) za jezgre za trofazne transformatore specifični gubici magnetiziranja kod 1,5 T i 50 Hz moraju biti jednaki ili manji od 2,1 W/kg, a specifična jalova snaga jednaka ili manja od

$$5,3 + \frac{1,7 AFe}{m_{Fe}} \text{ [VA/kg] , } m_{Fe} \text{ [kg] minimalna masa jezgre.}$$

### 2.3. Primjena

Motane prerezane jezgre od orijentiranih magnetskih limova Fe- 3% Si debljine 0,30 mm, koriste se obično za transformatore i prigušnice (snage 3 VA do 12,6 kVA) vrlo širokog spektra namjene u elektrotehnici, elektronici, telekomunikacijama i mjernoj tehnici. Najčešće su to mrežni jednofazni i trofazni transformatori, sigurnosni transformatori, mjerni naponski i strujni transformatori, magnetska pojačala, transformatori za zavarivanje i sl.



### 3. TRANSFORMATORSKI LIM

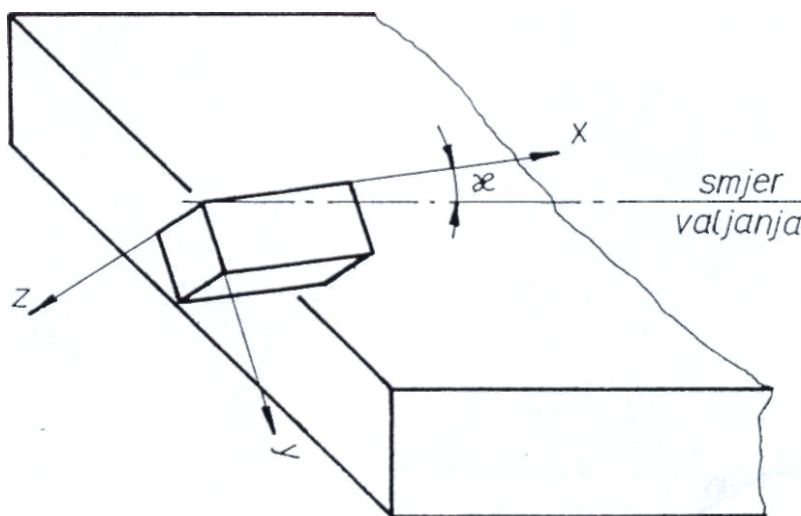
#### 3.1. Kvaliteta

Za motane prerezane jezgre, upotrebljava se orijentirani feritno-silicijski lim. Silicij se veže sa željezom u obliku prostorno centrirane kubne rešetke, koje se kombinacijom hladnog valjanja i termičke obrade orijentiraju u smjeru magnetiziranja. Prosječno odstupanje osi kristalita od smjera valjanja (magnetiziranja) iznosi  $7^\circ$  (kod konvencionalnih limova).

U posljednje vrijeme koriste se i super-orijentirani magnetski limovi čije prosječno odstupanje osi kristalita od smjera valjanja iznosi  $3^\circ$ . Oštrija tekstura postignuta je nizom izmjena u procesu proizvodnje orijentiranih limova od kojih su odlučujuće dvije:

jače smanjenje debljine limova završnim hladnim valjanjem i dodavanje novih inhibitora normalnog rasta kristalita.

Vrlo dobra magnetska svojstva limova osnivaju se na svojstvu rešetke da se lakše magnetizira u smjeru bridova prostorno centrirane kubne rešetke, nego u smjeru plošnih ili prostornih dijagonala.



*Slika 3.1. Smjer valjanja lima*

Metalurzima je uspjelo da relativno jeftinom tehnologijom proizvedu lim u kojem je veličina kristalita orijentirana sa X-osima u smjeru valjanja (Slika 3.1)

Takva tekstura dobila je ime po pronalazaču Goss-u.

Kut odstupanja x-osi od smjera narinutog magnetskog polja ( $\kappa$ ) koristi se kao mjera orijentiranosti kristala transformatorskih limova.

### 3.2. Svojstva

#### 3.2.1. Udio elemenata

C = 0,005 %

Si = 3,2 %

Mn = 0,2 %

P = 0,01 %

S = 0,005 %

O, Cr, Cu što manje.

#### 3.2.2. Mehanička svojstva

Transformatorski limovi ne smiju imati unutarnja mehanička naprezanja i moraju biti sposobni za obradu u hladnom stanju. Ispitivanjem su dobivene slijedeće vrijednosti:

Tablica 3.2.2. Mehanička svojstva lima

Granica elastičnosti	275 N/mm <sup>2</sup>
Granica razvlačenja	324 N/mm <sup>2</sup>
Zatezna čvrstoća	353 N/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti	137 340 N/mm
Tvrdoća HV <sub>5</sub>	180

#### 3.2.3. Tolerancija dimenzija

Ako se posebno ne propisuje za transformatorski lim se primjenjuju slijedeće tolerancije:

za debljinu + 10 %

za širinu + 0,2 mm

za srh max. 30 μm

Ukoliko se kod uzdužnog rezanja pojavljuje veći srh od maksimalno predviđenoga srh, to ima za posljedicu nepravilno namatanje trake na šablonu i time deformiranje jezgre.

## **4. ANALIZA TEHNOLOGIJE IZRADE TRANSFORMATORSKIH JEZGRI**

Magnetski lim koji se isporučuje u trakama širine 790 do 860 mm izrezuje se u uske trake. Dijapazon širina traka (prema HRN-u) je od 8 mm do 129,5 mm.

Traka određene širine namata se na veličinu jezgre određene šablone. Zatim se jezgre stežu u naprave (zajedno sa šablonom) i žare u jamskoj peći. Nakon žarenja izbijaju se šablone, te se jezgre impregniraju epoksidnom smolom u vakumskoj komori.

Slijedeća operacija je prerezivanje jezgara u svrhu umetanja namotanih svitaka. Prethodno je potrebno kontrolirati dimenzije i magnetska svojstva. Slijedi pakiranje i isporuka.

### **4.1. Utjecaj pojedinih proizvodnih operacija**

#### *4.1.1. Oblikovanje jezgri*

Namatanje lima na šablonu znatno kvari magnetska svojstva. Iznos ovisi o rasprostranjenosti i veličini elastičnih i plastičnih naprezanja u limu.

Lokaliziranjem tih naprezanja na što manja područja (npr. samo uglove jezgri) poboljšavamo magnetska svojstva. Uz to, jezgre moraju biti i dovoljno čvrsto namotane (faktor popunjenja mora biti veći od 0,95).

#### *4.1.2. Ižarivanje*

Ižarivanje ima za cilj popravak negativnih utjecaja prethodnih proizvodnih operacija. Samo vrlo dugotrajno ižarivanje, na dovoljno visokoj temperaturi, može smanjiti naprezanja u elastično deformiranim limovima, na tako niski nivo, da se magnetska svojstva približe izvornim svojstvima lima prije oblikovanja jezgre. Kod jače plastično deformiranih limova niti to nije dovoljno, jer u kritično i nadkritično definiranim područjima dolazi do primarne rekristalizacije tj. slabljenja teksture limova.

Zbog toga za vrijeme oblikovanja limova i jezgri treba nastojati da se limovi što manje plastično deformiraju, da se magnetska svojstva ižarivanjem vrate što bliže stanju prije plastične deformacije.

#### *4.1.3. Impregniranje*

Provodi epoksidnim smolama u svrhu odvajanja limova. To odvajanje ima za cilj sprečavanje stvaranja vrtložnih struja u jezgri.

Kao posljedica impregniranja javlja se adhezijska sila između limova, koja nam koristi prilikom



prerezivanja jezgri. Naime, limovi i nakon prerezivanja ostaju kompaktni.

Sama operacija izvodi se tako da se izvlači zrak iz šupljine između namota, a na njegovo mjesto se ubacuje adhezivno sredstvo. Nakon toga obavlja se sušenje, tj. otvrdnjivanje.

Samo impregniranje ne mijenja magnetska svojstva materijala, ali znatno poboljšava magnetska svojstva cjelokupne jezgre.

#### *4.1.4. Prerezivanje*

Znatno utječe na magnetska svojstva jezgri. Naime, pošto je relativna permeabilnost zraka desetak puta veća od relativne permeabilnosti metala, pukotine koje se stvaraju između neravnina prerezanih stranica predstavljat će i znatno veći otpor prolasku magnetskih silnice.

Zbog toga prerezane površine jezgri moraju biti sa što manjim neravninama (visoka kvaliteta površinske hrapavosti) i plan-paralelne.

## **5. ISTRAŽIVANJE TRŽIŠTA**

### **5.1. Postojeći proizvodi na tržištu**

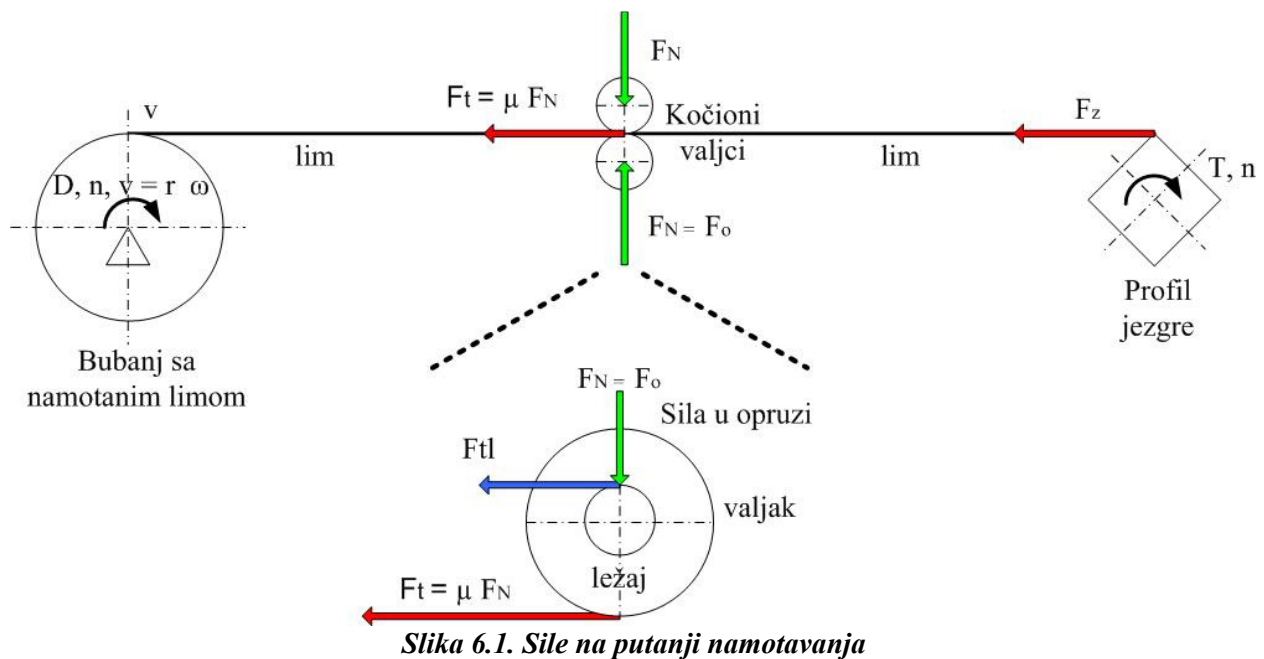
Uz uloženi trud i napor pri traženju po internetu nismo bili u mogućnosti pronaći bilo što slično ovakvome uređaju, bar ne uređaju koji je funkcionalan sam za sebe kao kočnica tj, nije sastavni dio nekog većeg stroja koji ujedno i odmotava lim sa bubnja, koči ga i namata na profil buduće jezgre transformatora.

Naime dosta tvrtki i korporacija koje se bave izradom transformatora sa jezgrama ovakvog tipa najčešće imaju svoje patente skrivene od javnosti ili je potrebno uplatiti određenu svotu novca da bi se one mogle pogledati.

U inozemstvu se dosta vodi računa o zaštiti patenata i njihovoj distribuciji po određenim uvjetima, očito. U toliko nam je bilo teže predložiti si otprilike kako bi naš finalni uređaj trebao izgledati, no to nije presudno utjecalo na naše stečeno znanje na ovome fakultetu da razvijemo svoj koncept, a na kraju i 3D model koji će biti funkcionalan, jeftin i održiv u našim uvjetima rada što se odnosi na tehnoeкономsku analizu našeg proizvoda.

## 6. PRORAČUN MEHANIZMA ZA KOČENJE

### 6.1. Izvedba



Motor za namotavanje lima oko profila jezgre

$$n_{EM} = 18 \text{ min}^{-1} = 0,3 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_{EM} = 2\pi \cdot 0,3 = 1,885 \text{ rad/s}$$

### 6.2. Momenti savijanja

Za proračun smo si pomogli sa literaturom navedenom pod brojem [2]

Za  $\frac{r_u}{s} \leq 5$  vrijedi

$$M_\sigma = R_M \cdot n \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}, \text{ N mm -za čisto plastično savijanje}$$

$n = 1,6 \div 1,8$  -faktor ojačanja

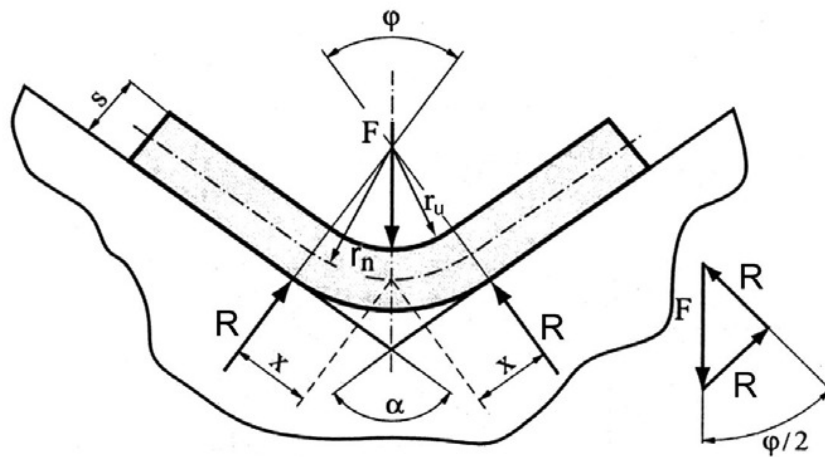
Za  $\frac{r_u}{s} > 5$  vrijedi

$$M_\sigma = R_p \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}, \text{ N mm -za elastično-plastično savijanje}$$

$b$ -širina savijenog komada

$$M_\sigma = M \Rightarrow F$$

### 6.3. Sila savijanja



Slika 6.1. Savijanje lima oko pravokutnog profila

$$F = \frac{2M}{r_n} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$$

$r_n$  -radijus neutralne osi

$$\text{Za } \frac{r_u}{s} \geq 10 \quad ; \quad x = 0,5 \rightarrow r_n = r_u + \frac{s}{2}$$

$$\text{Za } \frac{r_u}{s} = 0,1 \quad ; \quad x = 0,3 \rightarrow r_n = r_u + 0,3 \cdot s$$

x-faktor pomicanja neutralne osi (empirijski podatak koji se bira iz preporuka)

$$r_n = r_u + x \cdot s \quad ; \quad x = f\left(\frac{r_u}{s}\right)$$

### 6.4. Proračun odabranih podataka (okvirni proračun)

$R_M = 353 \text{ N/mm}^2$  , -vlačna čvrstoća lima za jezgre

$R_p = 324 \text{ N/mm}^2$  , -granica plastičnosti lima za jezgre

$s = 0,2 \div 0,5 \text{ mm}$  , -zadana debljina lima

Prema normi HRN N.R8.042 XII-1972

Za jezgru tipa-R (od R1.1 do R5.3 )

Uzet ćemo okvirno srednji tip jezgre:

R5.3 sa  $R_{\max} = r_u = 3mm$  , -radijus savijanja lima

$$\frac{r_u}{s} = \frac{3}{0,35} = 8,57 \leq 5 \quad 8,57 \geq 5 \quad \text{ODGOVARA za elastično-plastično savijanje}$$

$$s = \frac{0,2 + 0,5}{2} = 0,35$$

a) Moment savijanja

Za  $\frac{r_u}{s} > 5$  vrijedi

$$M_\sigma = R_p \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} = 324 \cdot \frac{35 \cdot (0,35)^2}{4} = 347,287 Nmm \text{ -za elastično-plastično savijanje}$$

$$b = 10 \div 60mm = \frac{10 + 60}{2} = 35mm ,$$

b-širina savijenog lima

$$M_\sigma = M \Rightarrow F$$

b) Sila savijanja

$$F = \frac{2M}{r_n} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = \frac{2 \cdot 347,287}{3,105} \cdot \operatorname{ctg} \frac{90^\circ}{2} = 223,69 \approx 224N$$

$$r_n = r_u + 0,3 \cdot s = 3 + 0,3 \cdot 0,35 = 3,105 ;$$

$r_n$  -radijus neutralne osi

c) 20% veća sila zbog sigurnosti

$$F_z = 1,2 \cdot F = 1,2 \cdot 224 = 268,8N$$

$$F_t = F_z \cdot e^{\mu\alpha} = 268,8 \cdot e^{0,8 \cdot 1} = 598,225N$$

$$\Sigma M_O = 0$$

$$F_t \cdot R = F \cdot r$$

$$F_{il} = \frac{R}{r} F_t = \frac{45}{28} \cdot F_t = 961,43N$$

$$F_N = F_O = \mu F = 0,8 \cdot 961,43 = 769,15N \text{ -sila oruge}$$

$$F_{O1} = \frac{F_O}{2} = \frac{\mu F}{2} = \frac{0,8 \cdot 961,43}{2} = 384,575N \text{ - sila u jednoj opruzi.}$$

## 6.5. Odabir opruge

Opruga je odabrana od proizvođača MISUMI sa njihove web stranice. U literaturi je navedeno pod [6]. Odabrali smo ovu tvrtku jer dosta pregledno daje katalog svojih proizvoda. Također je bilo dosta teško pronaći na ovakav način odgovarajući tip opruge pošto su takve stvari najčešće poslovna tajna gotovo svake tvrtke koja se bavi proizvodnjom istih.

Na slici 6.5c. možemo vidjeti cjelokupni prikaz tlačnih opruga WH i WB tipa, za koje smo se odlučili tijekom izrade ovoga završnoga rada.

Na slikama 6.5a i 6.5b. možemo vidjeti izvatke iz velikog kataloga koji se nalazi na slici 6.5c. gdje smo posebno naznačili crvenom bojom odabrani tip tlačne opruge za naš uređaj.

Iz kataloga smo izabrali dvije opruge sljedećih karakteristika:

Oznaka: WB27-70 sa maksimalnim progibom od 17,5 mm i maksimalnim opterećenjem od 514,8 N ,te vanjskim promjerom od 27 mm i promjerom žice od 4 mm.

Dvije ovakve opruge će izvrsno zadovoljiti sve naše potrebe glede izvedbe najvažnije funkcije našeg uređaja.

WH  
WB

Spring Constant  $\pm 10\%$   
Outer Diameter D  $\phi 10$  or Less  $-0.5\text{mm}$   
 $\phi 12$  or More  $-0.8\text{mm}$   
Free length L  
50 or Less  $\pm 1.5\text{mm}$   
55 or More  $\pm 2\text{mm}$

SWP-A

## Spring Constant

D12 and 14 for WY type and D12, 14 and 20 for WT type are not available.

D	Type	WY	WR	WF	WL	WT	WM	WH	WB
2					0.5(0.05)				
3						1.5 (0.15)	2.0 (0.2)		3.9(0.4)
4	N/mm 0.1 (kgf/mm) (0.01)							2.9(0.3)	4.9(0.5)
5									
6		N/mm 0.3 (kgf/mm) (0.03)	N/mm 0.5 (kgf/mm) (0.05)	N/mm 1.0 (kgf/mm) (0.1)	N/mm 2.0 (kgf/mm) (0.2)	N/mm 2.9 (kgf/mm) (0.3)	N/mm 5.9 (kgf/mm) (0.6)	N/mm 9.8 (kgf/mm) (1.0)	
8									
10	N/mm 0.2 (kgf/mm) (0.02)								
12									
13								N/mm 9.8 (kgf/mm) (1.0)	N/mm 19.6 (kgf/mm) (2.0)
14									
16									
18		N/mm 0.5 (kgf/mm) (0.05)	N/mm 1.0 (kgf/mm) (0.1)	N/mm 2.9 (kgf/mm) (0.3)	N/mm 3.9 (kgf/mm) (0.4)	N/mm 4.9 (kgf/mm) (0.5)	N/mm 14.7 (kgf/mm) (1.5)	29.4(3.0)	
20									
22									
27									N/mm 29.4 (kgf/mm) (3.0)
Fmax.		F=L×75%	F=L×60%	F=L×45%	F=L×40%	F=L×40%	F=L×35%	F=L×30%	F=L×25%

WB : Fmax. (Allowable Deflection) = L×25%

Slika 6.5a. Izvadak iz kataloga; osnovne dimenzije opruge.

d	Solid Length	F max.	Load N(kgf) max.	Catalog No. Type D — L	Unit Price Qty. 1~9
3.5	19	7.5	220.6 { 22.5 }	WB27— 30	1,87
3.6	21	8.8	258.9 { 26.4 }	35	
3.6	21	10	294.2 { 30.0 }	40	
3.8	30	11.3	332.4 { 33.9 }	45	
3.8	30	12.5	367.7 { 37.5 }	idealna 50	1,98
4.0	38	13.8	406.0 { 41.4 }	55	
4.0	38	15	441.3 { 45.0 }	60	
4.0	38	16.3	479.5 { 48.9 }	odabrana 65	
4.0	38	17.5	514.8 { 52.5 }	70	2,09
4.5	57	20	588.4 { 60.0 }	80	
4.5	63	22.5	661.9 { 67.5 }	90	
4.5	67	25	735.5 { 75.0 }	100	

Slika 6.5b. Izvadak iz kataloga; odabir željene opruge.

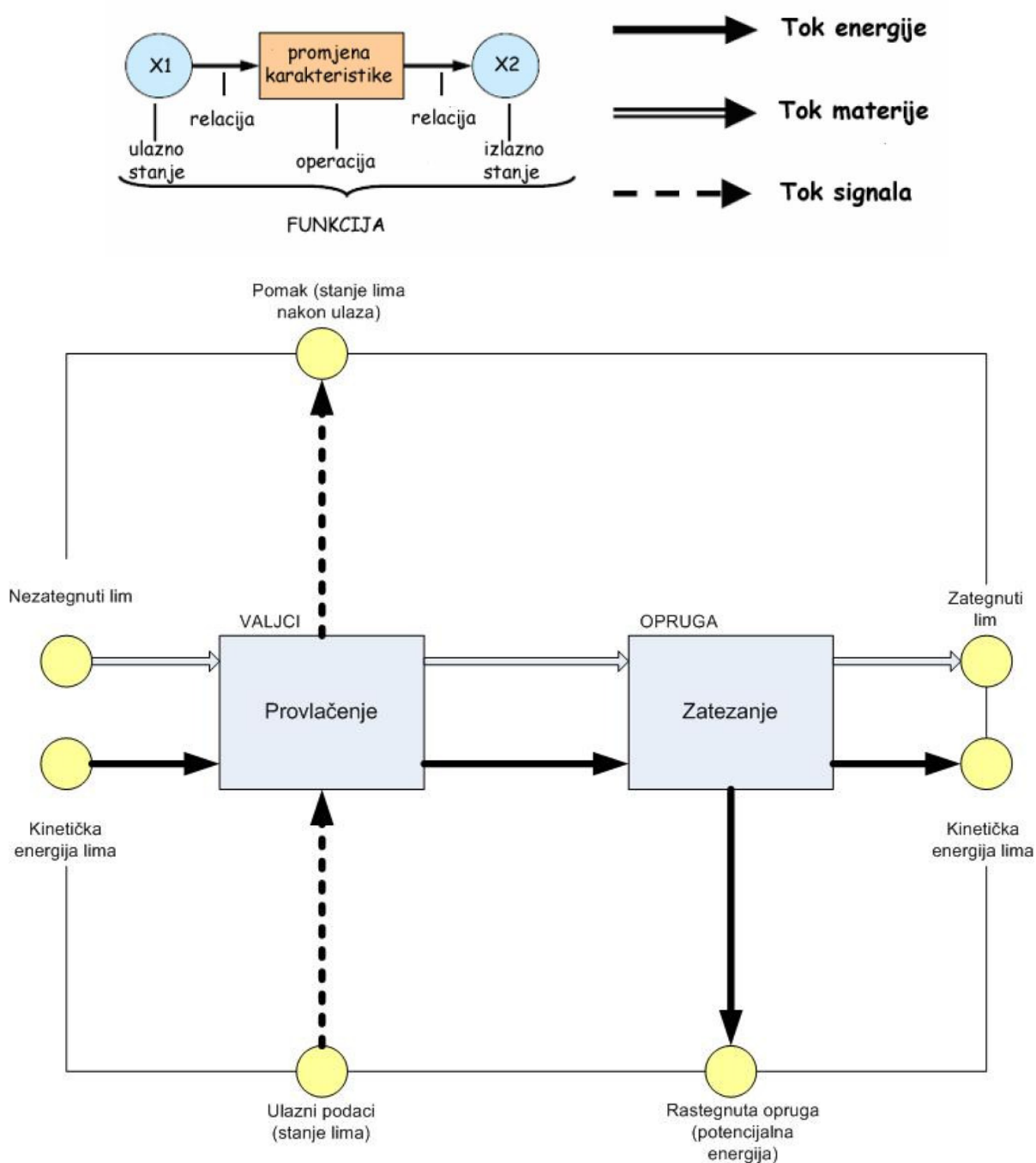




## 7. FUNKCIJSKO MODELIRANJE PROIZVODA

### 7.1. Modeliranje funkcija pomoću toka

Funkcijski model zasnivan na toku prikazuje promjenu karakteristika operanda u operaciji. Razmatraju se tri tipa operanda (energija, materija i signali, te je tok svakog od njih označen posebnom vrstom strelice. Funkcija kao dio ukupne transformacije, uzrokuje određenu promjenu karakteristika operanda koju realizira fizički nositelj funkcije (tehničko rješenje). Svaki operand koji sudjeluje u procesu može se opisati svojim početnim i konačnim stanjem. Relacije predstavljaju smjer promjena stanja operanda u funkciji.

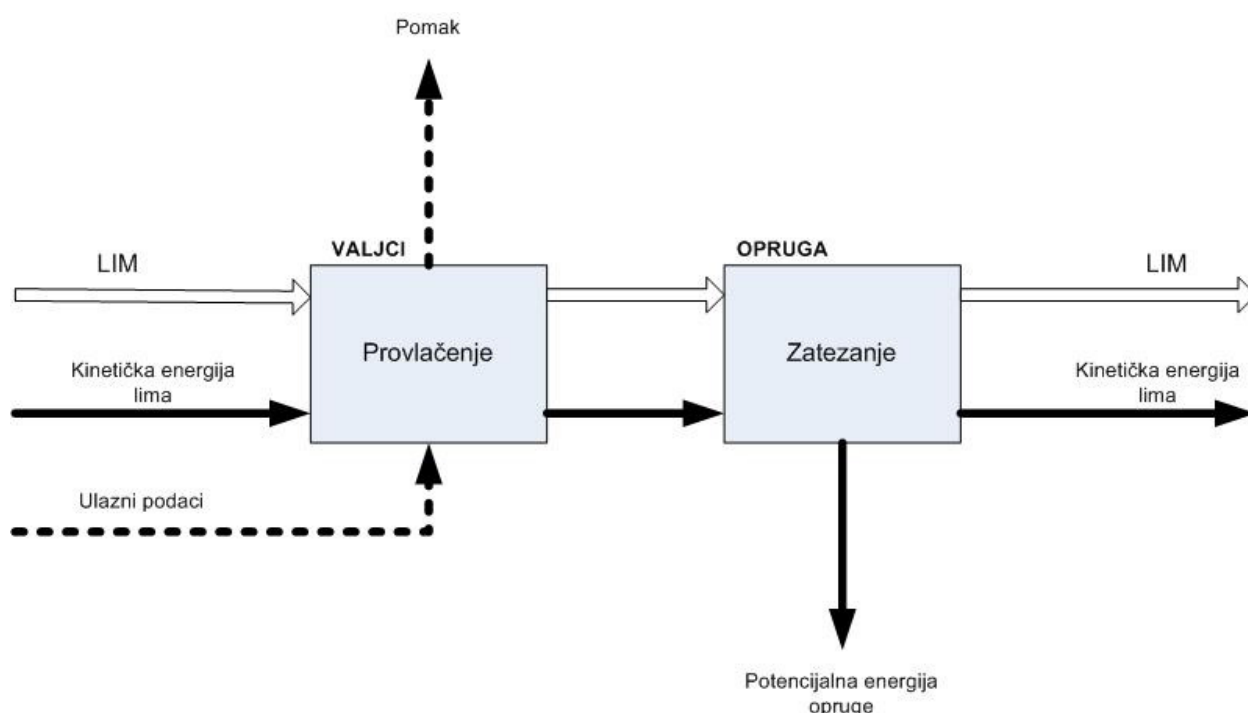


**Slika 7.1. Funkcijska struktura (modelirana pomoću toka funkcija)**



Kao što možemo vidjeti imamo samo 2 glavne funkcije koje su nam bitne za naš uređaj stoga imamo relativno jednostavnu funkcijsku strukturu.

## 7.2. Funkcijska struktura (pojednostavljena)

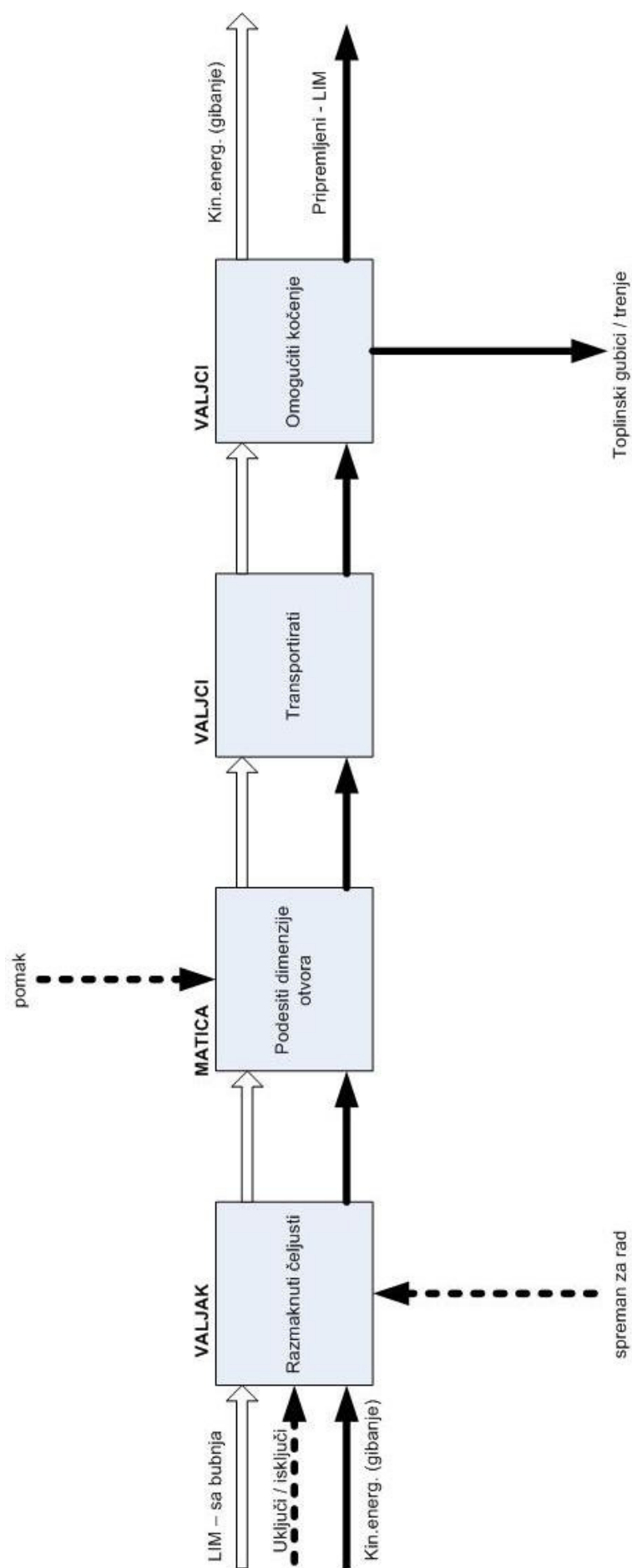


**Slika 7.2. Funkcijska struktura (pojednostavljena)**

Pojednostavljena funkcijska struktura koja se češće koristi u razvoju proizvoda je ta koju možemo vidjeti na slici 7.2. Prikazane su 2 funkcije, provlačenje i zatezanje i tok materije energije i signala ili informacije.

## 7.3. Funkcijska struktura (opširnija)

Malo opširniji prikaz funkcijske strukture prikazan je na slici 7.3. gdje smo radi detaljnijeg opisa pojedinih funkcija dvije primarne funkcije razložili na 4 funkcije. Tako smo dobili pregledniji prikaz funkcijske strukture našeg uređaja koji će nam kasnije biti u daljnjem razvoju ovoga uređaja od velike pomoći pri njegovom poboljšanju i usavršenju.



**Slika 7.3. Funkcijska struktura (opširnija)**

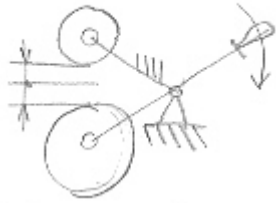
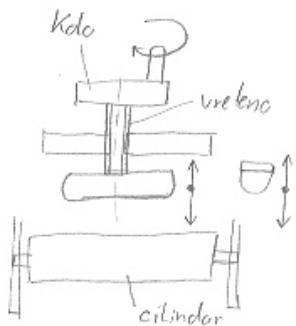

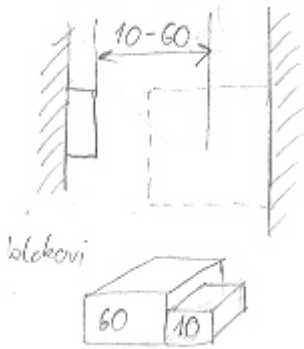
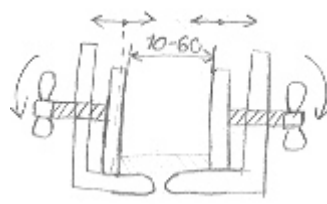
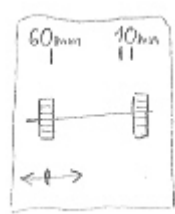
## 8. MORFOLOŠKA MATRICA

Nakon što smo formirali funkcijsku strukturu našega uređaja, sljedeće što slijedi prema metodičkoj razradi je koncipiranje morfološke matrice koja sadrži sve razložene funkcije našega uređaja i načine njihove izvedbe. Tehnoekonomskom analizom kroz postupak koncipiranja odlučili smo se za odabir sljedeći za naš finalni koncept uređaja za kočenje.

Tablica 8a. Ostvarivanje funkcija koncepta.

<b>Funkcija</b>	<b>Ostvarivanje funkcije</b>
1. Razmaknuti čeljusti	Oprugom
2. Podešavanje dimenzija otvora	Oblikom
3. Ostvariti kočenje	Oprugama
4. Transportirati/voditi medij	Između valjaka (Kroz)

Tablica 8b. Morfološka matrica.

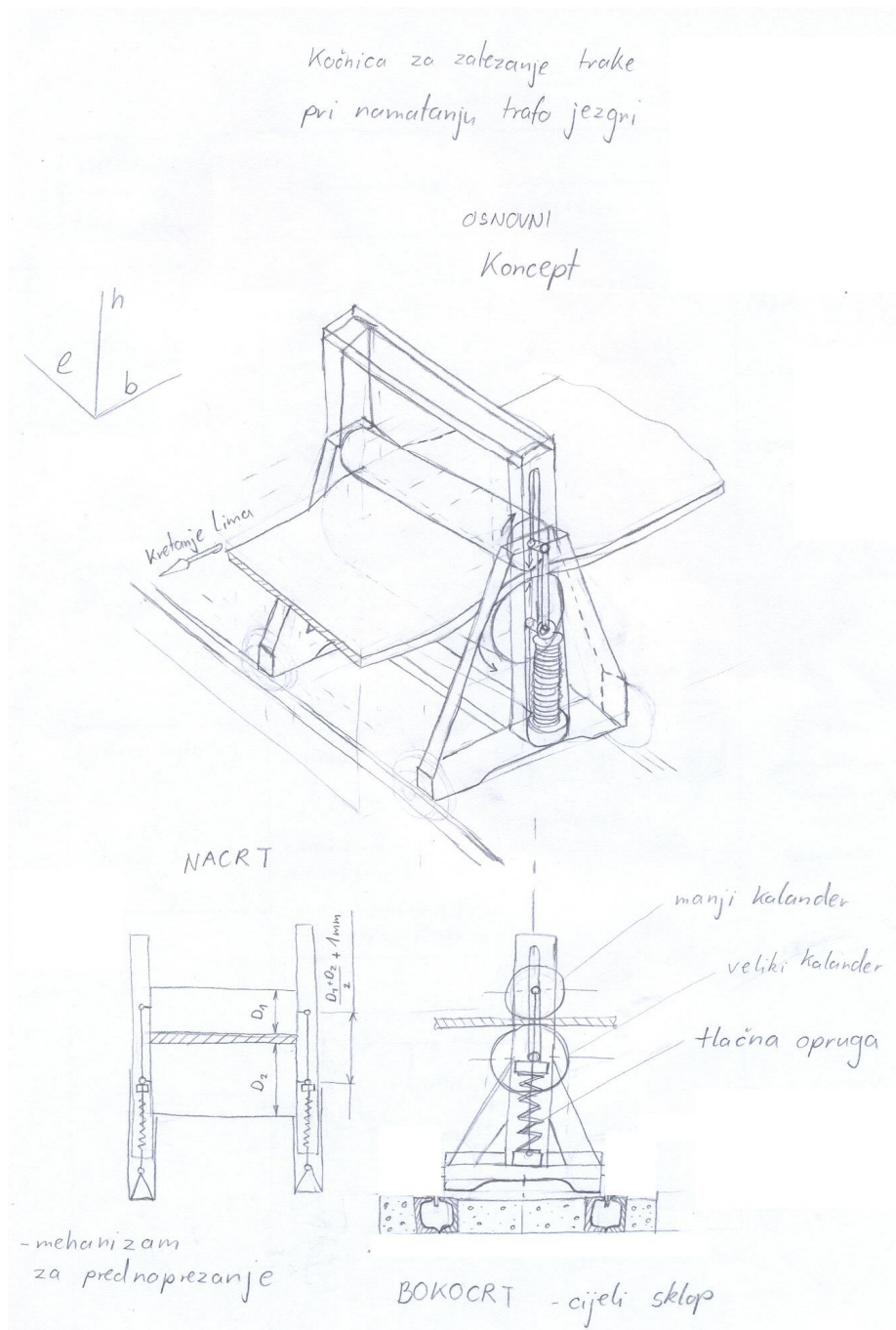
MORFOLOŠKA MATRICA				
Funkcija	Polugom	Oprugom		Vretenom
1. Razmaknuti čeljusti	 <p>- jedan valjak pomičan drugi nepomičan</p>	Pozicija A	Pozicija B	 <p>Kolo vreteno cilindar</p>
		Rastegnute opruge	Sabijene opruge	
	Ekscentrom			
	 <p>LIM zatezanje max min</p>			
2. Podešavanje dimenzija otvora	Klizačima	Oblikom		Vijcima
	Tlocrt postolja	 <p>10-60 blokovi 60 10</p>		 <p>10-60</p>
	 <p>60mm 10mm</p>			
		-klizači za translacijski pomak	-dodavanjem dimenzioniranih uložaka ili -oblikom otvora dimenzijama ulaza lima	

3. Ostvariti kočenje	Čeljustima		Oprugama		Ekscentrom	
	Kočnicom					
	Čeljusna			Pojasna		
	Dvočeljusna		Jednočeljusna			Tipovi:
			Obična			
4. Transportirati /voditi medij	Valjcima			Konvejerom		
	Po obodu valjaka (PREKO)					
	Između valjaka (KROZ)			-trakastim konvejerom		

## 9. KONCEPTI

### 9.1. Odabiranje koncepata

Na osnovu funkcijske strukture i morfološke matrice metodičkom razradom smo odabrali sljedeće idejno projektno rješenje koje ćemo dalje razrađivati.



**Slika 9.1. Skice odabranog koncepta.**

Na slici 9.1. možemo vidjeti skice koncepta

a proizašle na osnovu funkcijske strukture i morfološke matrice. Prije 3D modeliranja u CAD paketima morali smo smisliti nekakav budući osnovni izgled našega uređaja.

## 10. 3D MODELIRANJE PROIZVODA

### 10.1. Računalni program CATIA V5

Svi modeli i cjelokupna dokumentacija napravljena je korištenjem računalnog programa CATIA V5 R18. CATIA V5 opremljena je modulima koji su prilagođeni različitim potrebama. Tvrtka Končar – distributivni i specijalni transformatori koristi CATIA-u kao osnovni računalni alat pa je to glavni razlog za odabir ovog računalnog programa za izradu kočnice za zatezanje trake pri namatanju transformatorskih jezgri.

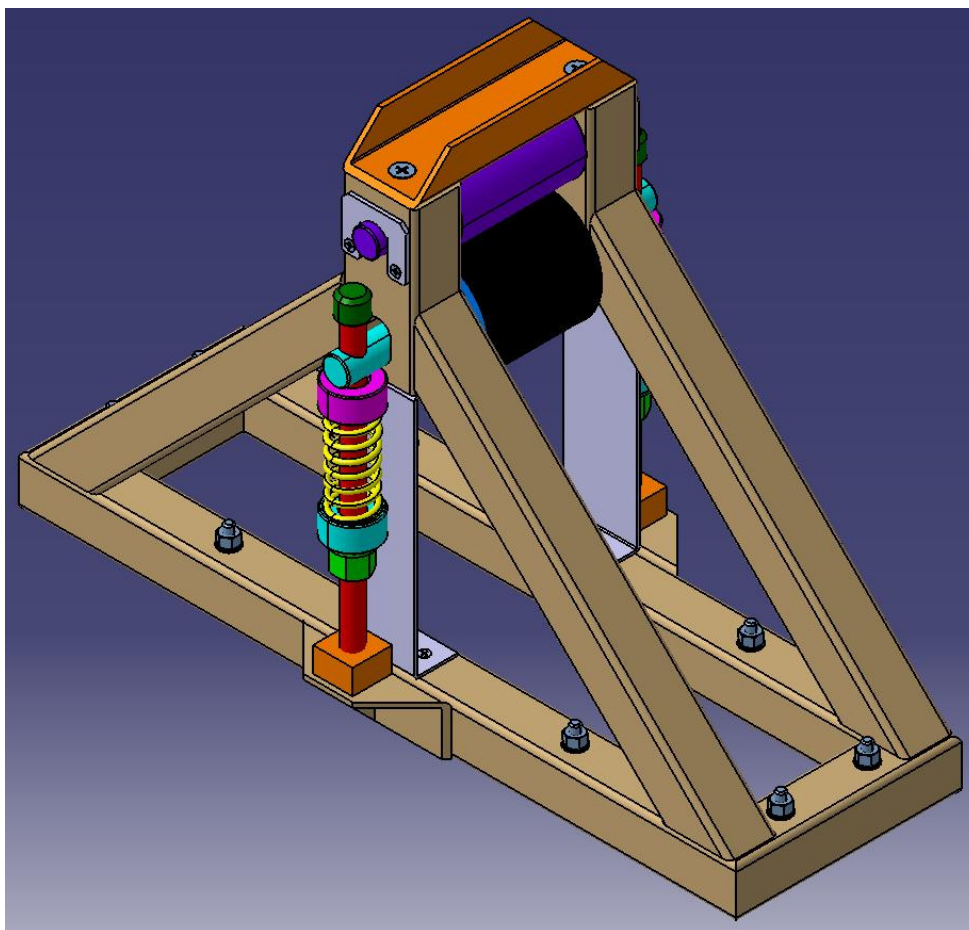


*Slika 10.1. CATIA by Dassault Systèmes*

### 10.2. Modeliranje odabranog koncepta

Prvo što smo napravili u CAD paketu je pod sklop gornjeg postolja koji se sastoji od većine standardnih dijelova. Pošto nam je naknadno visina prolaska lima bila zadana kao 1 m samu konstrukciju smo prilagodili i za opcije postavljanja na postojeći radni stol. Vodili smo računa i o nepostojanju takvog stola. Kako bismo riješili tu situaciju predvidili smo izradu dodatnog nosivog postolja koje će naš osnovni uređaj pridržati na zadanoj radnoj visini.



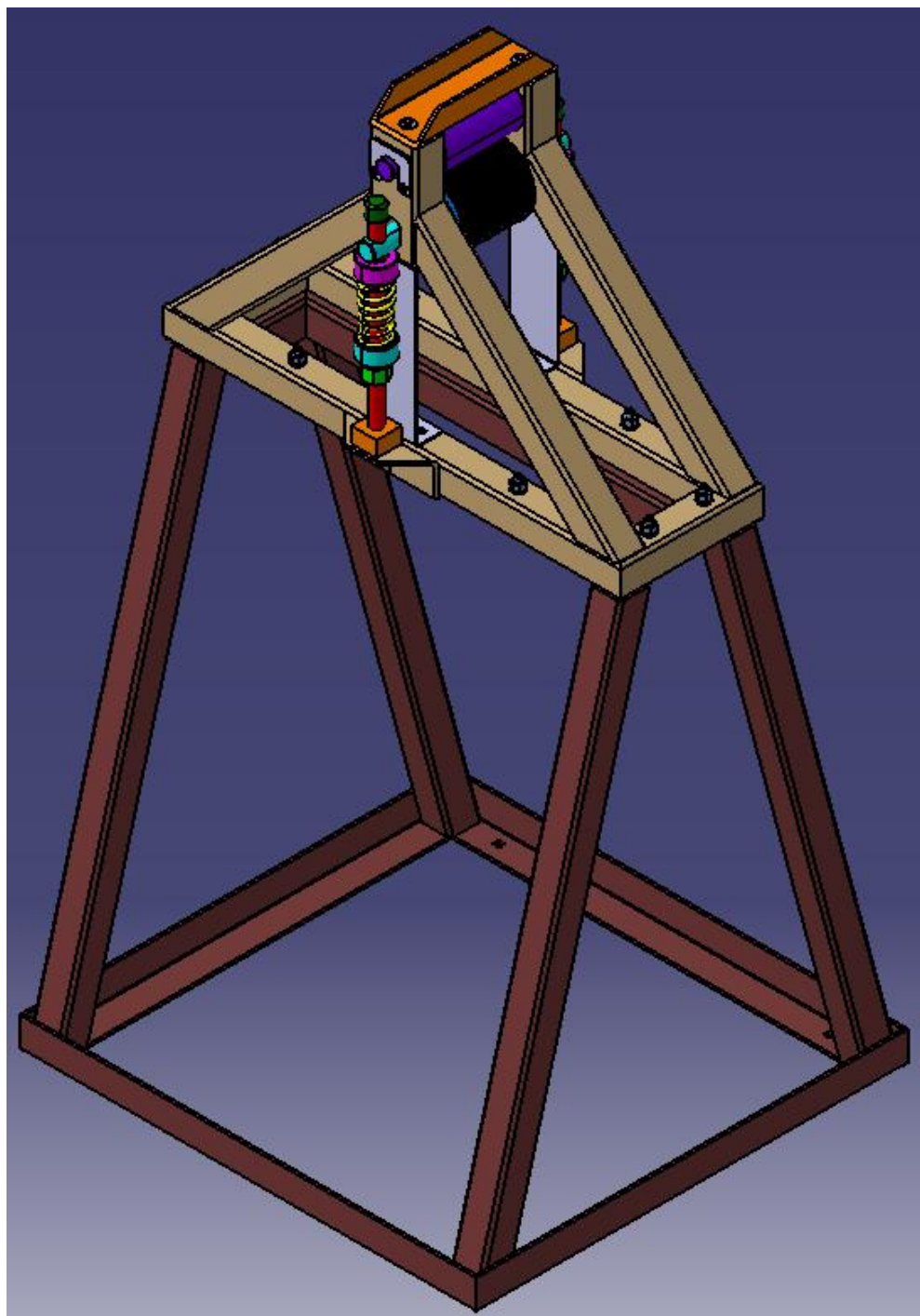


*Slika 10.2a. Glavni dio sklopa.*

Sami glavni sklop se nalazi na gornjem postolju. Samu kočnicu smo izveli na sljedeći način: Izvedba kočenja je izvedena prolaskom lima između dva bubnja. Gornji bubanj je fiksiran i nepomičan. Obraden je najfinijom obradom kako ne bi ostavio traga na limu koji prolazi njegovim obodom. Donji veći bubanj je pomičan. Omogućena mu je rotacija ali i translacija ovisno koliko mu to dopušta sila kočenja. Rotacija je omogućena normalnim kugličnim ležajem a njegovo bočno pomicanje je osigurano dvama odstojnim prstenima. Osovina koja nosi bubanj preko ležajeva miruje i omogućeno joj je translatorno gibanje. Na njezinim dvama krajevima prolaze vodilice na kojima se nalaze klizači između kojih se nalaze opruge koje su pažljivo odabrane od tvrtke Misumi i opisane u prethodnim poglavljima. Regulacija se obavlja stezanjem matice koja nalazi ispod donjeg klizača opruge. Zatezanje i vođenje se obavlja preko vodilice na kojoj je urezan navoj M16. Položaj matice možemo pratiti preko mjernog lima koji se može dodati na gornje nosivo postolje. Na tome limu je zalijepljena mjerna skala položaja matice. Ta skala će nam biti od velike pomoći pošto obje matice moramo držati u ravnoteži kao bi sile u oprugama bili približno jednake. Pri tome ćemo izbjeći nepravilan rad samog uređaja i njegovo eventualno oštećivanje.

Takvim nepravilnim i učestalim radom bismo prouzročili kraći vijek trajanja svih pojedinih dijelova mehanizma za kočenje.





*Slika 10.2b. 3D model cijelog sklopa*

### **10.3. Konstrukcija postolja**

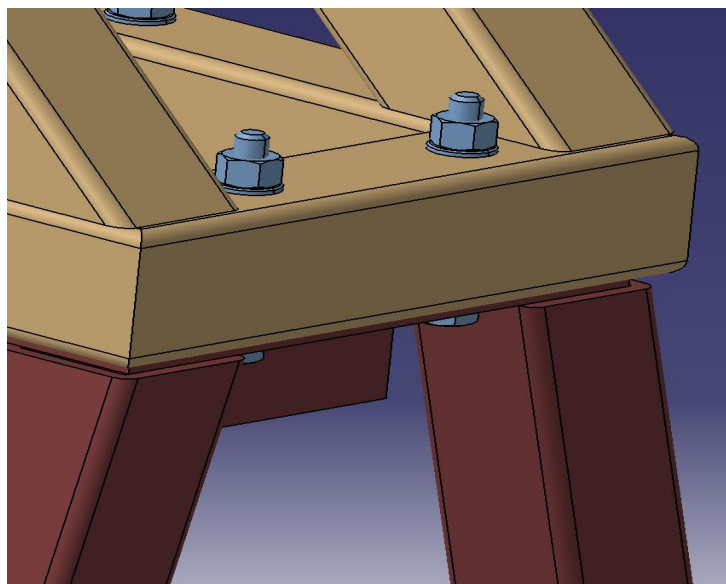
#### *10.3.1. Odabir i način spajanja profila*

Samu nosivu konstrukciju smo izradili od čeličnih pravokutnih cijevi 40 x 40 i čeličnih L 40 profila. Međusobno smo ih povezali kutnim zavarima ručno elektrolučnim postupkom sa obloženom elektrodom (šifra zavora 111) pazeći na samo tehnološki oblikovanje same konstrukcije.

Donje nosivo postolje kako smo ga nazvali, smo također izradili od standardnih čeličnih

pravokutnih cijevi 40 x 40 i čeličnih L 40 profila. Profile smo odabrali od hrvatske tvrtke Fratea koja se bavi izradom raznih čeličnih profila. U literaturi navedeno pod [7] i [8].

Ta dva postolja smo međusobno spojili sa standardnim M8 vijcima, maticama i podloškama uz upotrebu odstoynih puškica. Pri tome smo vodili računa o tehnologičnom oblikovanju samog sklopa.



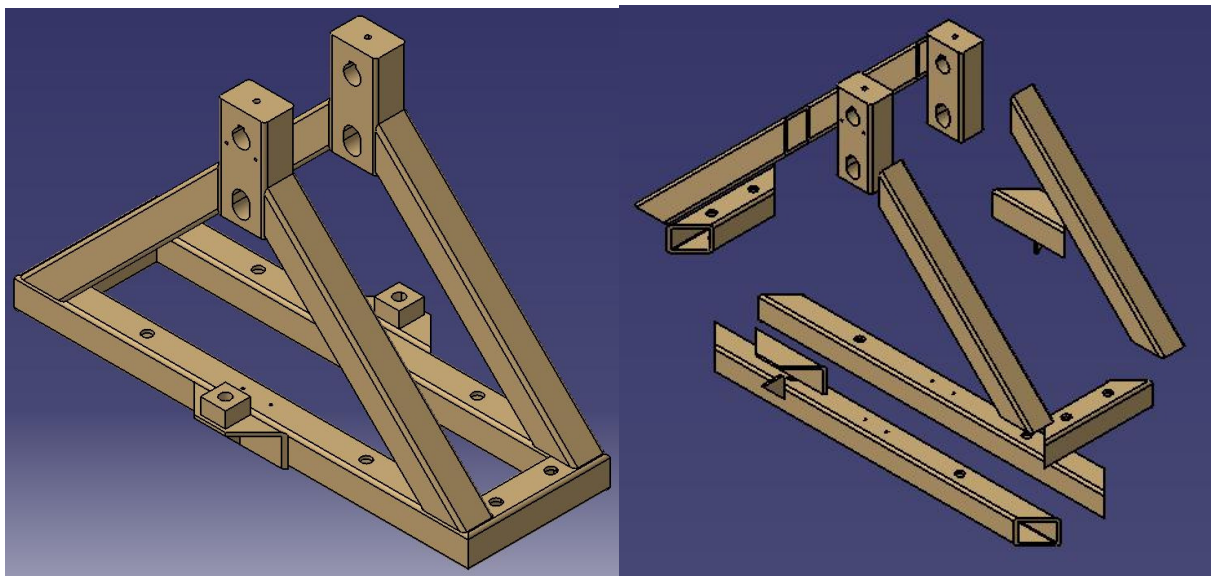
*Slika 10.3.1. Spajanje postolja vijcima*

#### *10.3.2. Shema spajanja profila*

Kod gornjeg djela postolja spajanje izvodimo sljedećim redoslijedom najprije od prethodno obrađenih (probušenih rupa za vijke i obrađenih skošenih mjesta gdje ćemo spajati dva profila) kvadratnih čeličnih cijevi (40x40x4mm) napravimo donje nosivo postolje. Zatim podignemo dva para skošenih profila kvadratnih čeličnih cijevi (40x40x4) između kojih zavarimo nosače bubnjeva. Nakon toga zavarimo prethodno obrađene nosače vodilica sastavljenih od dva L 40mm profila. Na njih zavarimo nosače profila vodilice u koje urežemo navoj M16.

Sljedeće je što slijedi montaža kočionog sklopa. Najprije probušimo rupe na postolju kroz koje ćemo provuci osovine bubnjeva. Da bismo spriječili okretanje gornjeg bubnja uložiti ćemo pero između bubnja i njegove nosive osovine. Izlaženje osovinice pri radu ćemo spriječiti dvama graničnicima koje ćemo pričvrstiti za gornje postolje. Sada slijedi montaža donje bubnja koji se može normalno rotirati. Uložimo odstoynne prstene i glavni bubanj u koji smo postavili kuglične ležajeve. Zatim kroz njih i kroz nosač bubnjeva provučemo glavnu osovinu i pozicioniramo je. Nakon toga složimo u visinu sljedeće dijelove počevši odozdo: matica, donji klizač, opruga, gornji klizač. Nakon što smo to posložili kroza njih provučemo vodilice i donji kraj čvrsto zategnemo. Na gornje krajeve vodilica zategnemo granične matice koje sprečavaju eventualno

iskakanje ali i od oštih dijelova koji mogu nastati pri narezivanju navoja na vodilicu. Na kraju dodamo na vrh postolja obrađeni UNP profil koji nam služi za dodatno učvršćenje gornjeg postolja.

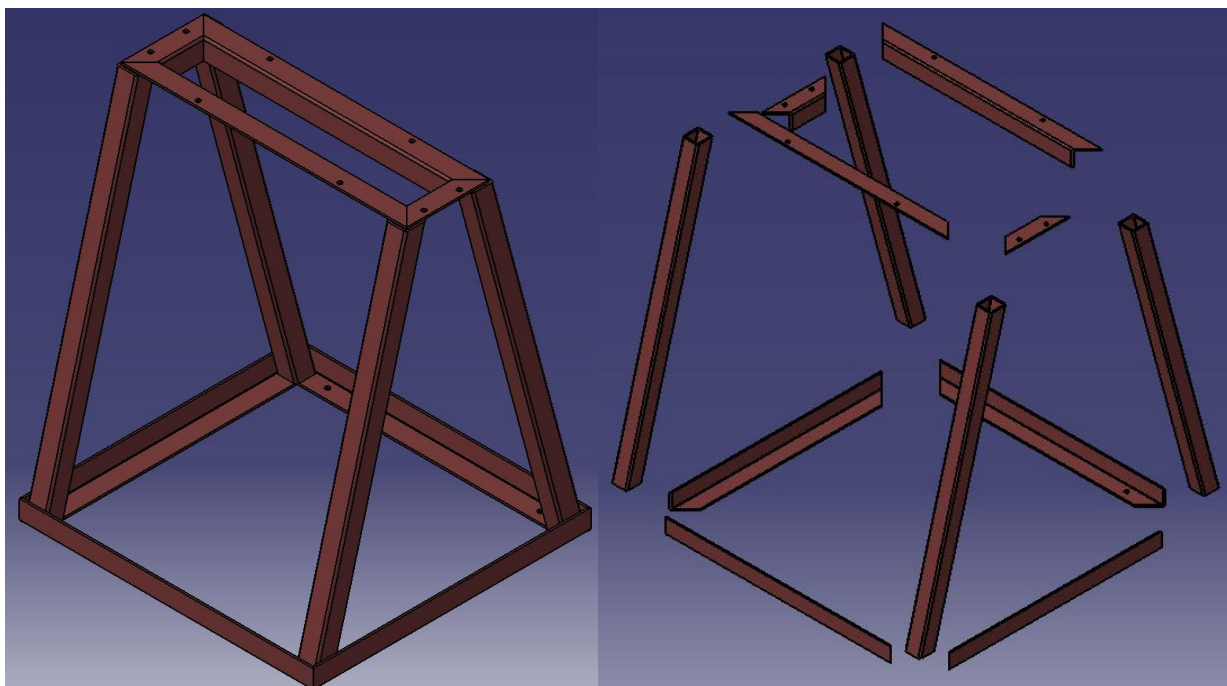


*Slika 10.3.2a. Gornje postolje i dispozicijski crtež.*

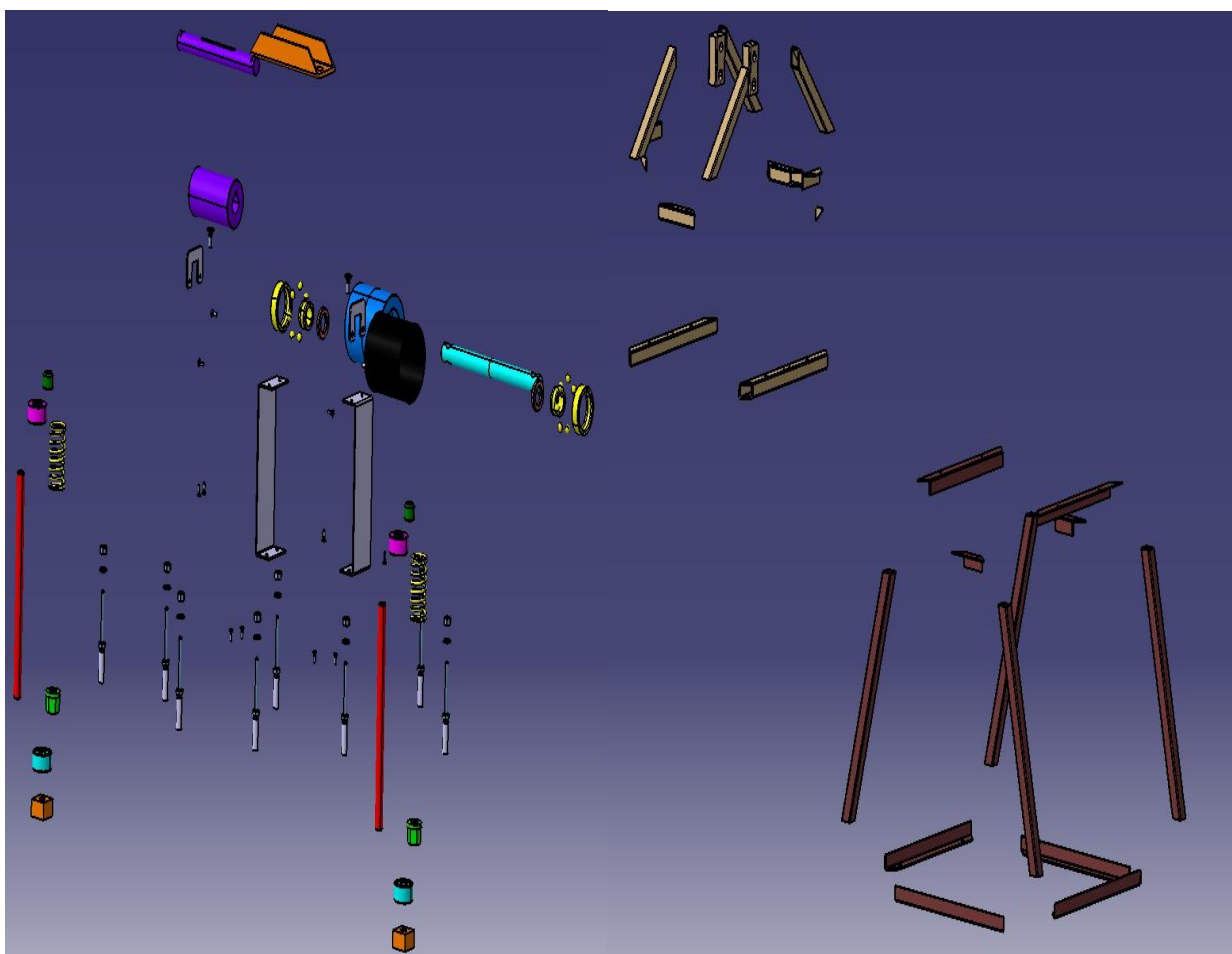
Donje pomoćno postolje sklapamo na sljedeći način. Od obrađena četiri profila L 40 mm složimo u pravokutnik i tako obrađene zavarimo. Na 2 profila se nalazi 4 rupa za vijke za temeljenje M8 samog sklopa. Zatim isto to napravimo za gornji nosivi dio postolja. Prethodno smo naravno obradili također te L profile (sadrže 8 rupa za vijke M8 s kojima spajamo donje postolje sa gornjim) Na tako pripremljena postolja postavimo 4 kvadratne čelične cijevi zavarimo ih ručnim elektrolučnim zavarivanjem sa obloženom elektrodom. Nakon toga možemo prema potrebi spojiti gornji (primarni) dio postolja sa donjim (sekundarnim) postoljem pomoću osam M8 vijaka.

Također moramo napomenuti da smo kompletno izbjegli uporabu električne energije na bilo koji način. Svi dijelovi i svi pomični elementi sklopa se podešavaju mehanički, lako su zamjenjivi i lako rastavljivi i sastavljivi .

Na slijedećim slikama možemo vidjeti razvedenu mrežu sklopa donjeg postolja tj. razvedene same dijelove postolja i cjelokupnog uređaja.



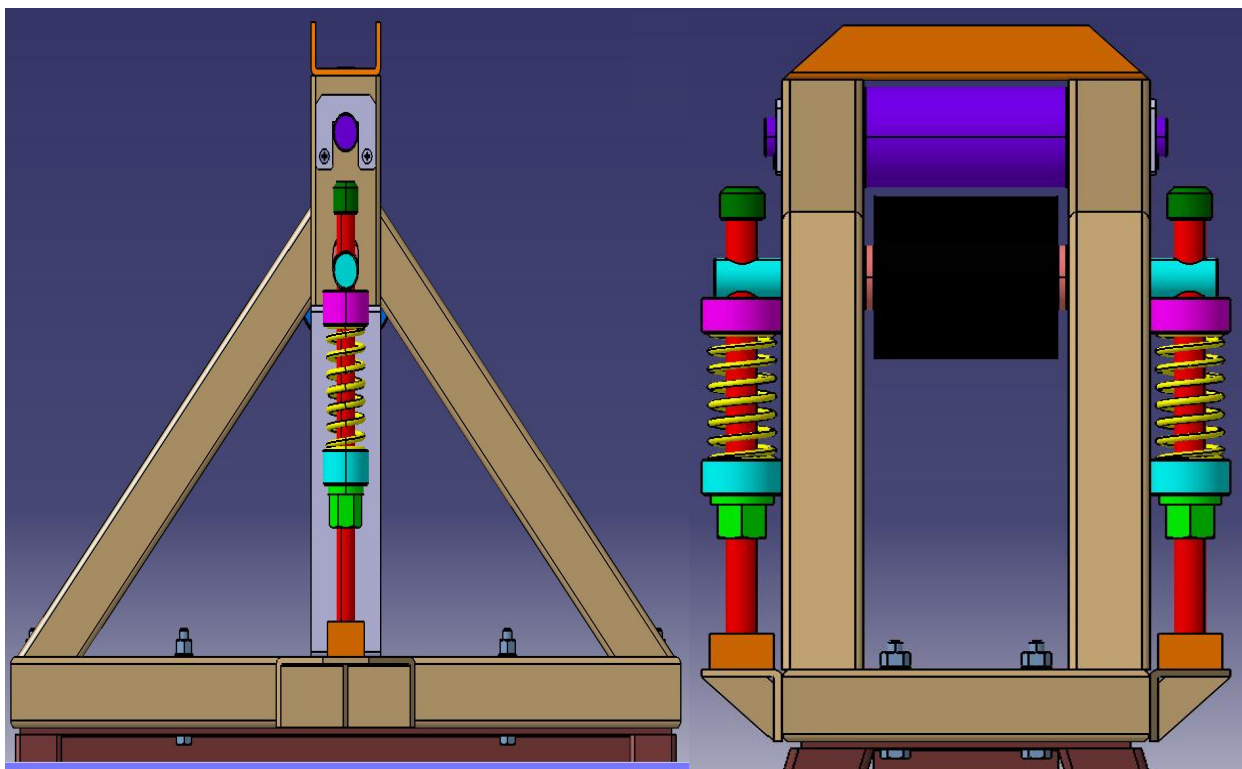
*Slika 10.3.2b. Donje postolje i dispozicijski crtež.*



*Slika 10.3.3. Dispozicijski crtež cijelog uređaja.*

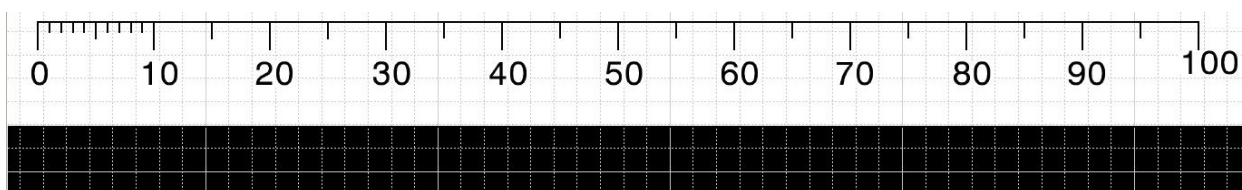


### 10.3.3. Opis rada samog uređaja.



**Slika 10.3.3a. Uređaj za kočenje**

Naš uređaj postavimo na radni stol i pričvrstimo ga zateznim vijcima. Ukoliko ne postoji radni stol postavimo donje postolje i za njega pričvrstimo primarni dio sklopa. Nakon toga done postolje temeljimo na pod. Nakon postavljanog učvršćenja uređaja možemo započeti sa njegovom primjenom. Povučemo trafo lim sa namotanog bubnja i pažljivo ga provučemo kroz naš sklop (između 2 valjka). Provučeni lim dovedemo do profila jezgre i natakneemo ga na njega. Sljedeće je što slijedi kalibriranje uređaja za njegov ispravan rad. Jednu po jednu maticu zatežemo dok ne osjetimo da se trafo lim našao u neposrednom dodiru sa dvama valjcima. Pošto moramo imati osigurano dobro vođenje i paralelne osi naša dva valjka zatezanje matice se regulira preko zalijepljene mjerne skale na mjernom limu neposredno uz vodilicu (na slici 10.3.3a. označen je sivom bojom i nalazi se iza crvene vodilice). Pomicanjem matice ostvarujemo veću silu zatezanja preko opruga (žuto) koje se nalaze između dvaju vertikalnih klizača (svjetlo plavi i ružičasti).



**Slika 10.3.3b. Mjerna skala.**

## **11. PRILOG**

### **11.1. Tehnička dokumentacija**

U nastavku možete vidjeti prilog tehničke dokumentacije koja sadrži sklopni crtež kočnice za zatezanje trake transformatorskog lima pri izradi malih transformatorskih jezgri, sklopni crtež gornjeg postolja te sklopni crtež donjeg postolja nosive konstrukcije. Za izradu tehničke dokumentacije korištena je također CATIA V5. Prvo napravljen 3D model cijelog sklopa u programu CATIA V5, a zatim i „drawing“ u istoimenom CAD paketu gdje je detaljnije razrađivan sam crtež.

## 12. ZAKLJUČAK

Kroz samu izradu ovoga završnoga rada praktički smo ponovili sve ono što smo u ovome dijelu preddiplomskoga dijela studija naučili iz pojedinih kolegija. Imali smo malo teži posao pri koncipiranju i samoj izvedbi ovoga uređaja pošto nismo mogli na tržištu pronaći ništa slično sa istom funkcijom s čim bi se mogli usporediti.

Na kraju vidimo kako je sama konstrukcija vrlo jednostavna i lako izvediva, u svakom pogledu, od montaže, izbora dijelova (profila) i same konstrukcije kao takve.

Također je bitna jednostavnost samog transporta te njegova ukupna težina od nekih 46 kg koja nije prevelika.

U suglasnosti sa mentorom dr.sc. Nevenom Pavkovićem zbog nedostatka vremena nisam ulazio u detaljniju analizu i razradu samog uređaja, pošto je u tekstu zadatka nije gotovo ništa navedeno osim dimenzija lima. Ostalo sam morao predvidjeti ili uz pomoć podataka sa interneta pretpostaviti.

Također je vrlo važno da konstruiranje uz sami životni vijek samog proizvoda bude na pravilan način izvedeno. Pri razvoju novih proizvoda rijetko se samo jedna osoba bavi i istraživanjem i razradom, koncipiranjem i projektiranjem samog proizvoda. Tako za uspješan razvoj našega, ali i bilo kojeg drugog proizvoda vrlo je bitno dobro poznavanje strojarskog znanja kod svakog konstrukcijskog inženjera strojarstva. Svaki proračun mora biti više puta pregledan od različitih stručnih osoba. Korištenje ovih smjernica i postupaka je najsigurniji put do ispravnog i tržištu privlačnog izgleda budućeg proizvoda kočnice za zatezanje trake transformatorskog lima pri izradi malih transformatorskih jezgri.

### **13. POPIS LITERATURE**

- [1] Ščap D.:Transportni uređaji, Zagreb, 2004.
- [2] Aleksandrović S.:Proizvodne tehnologije-savijanje limova, Kragujevac
- [3] Kraut B.:Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.
- [4] Decker K.-H. Elementi strojeva, Tehnička knjiga, Zagreb
- [5] [skf.com](http://skf.com)
- [6] [misumicad.com](http://misumicad.com)
- [7] [fratea.hr/cijevi.htm](http://fratea.hr/cijevi.htm)
- [8] [fratea.hr/cel/profili.htm](http://fratea.hr/cel/profili.htm)